

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی مواد است که در سال ۱۳۸۸ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر تقی شهرابی، مشاوره جناب آقای دکتر جابر نشاطی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب منصور بزرگ دانشجوی رشته خوردگی و حفاظت مواد مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: منصور بزرگ

تاریخ و امضا:

## دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱-** حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

**ماده ۲-** انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

**تبصره:** در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

**ماده ۳-** انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

**ماده ۴-** ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

**ماده ۵-** این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی: منصور بزرگ

امضاء:



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی و متالورژی ،

گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

# **بررسی اثر عوامل محیطی بر بازدارندگی هگزامین روی فولاد در محیط اسیدکلریدریک**

نگارش: منصور بزرگ

استاد راهنما: دکتر تقی شهبابی فراهانی

استاد مشاور: دکتر جابر نشاطی

تابستان ۱۳۸۸

## چکیده

در این پژوهش در ابتدا عملکرد ممانعت کننده هگزامین در ممانعت از خوردگی فولاد در محیط اسیدکلریدریک ۱ مولار بررسی گردید. به همین منظور تاثیر یکسری از عوامل و فاکتورهای موثر بر راندمان بازدارندگی مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت تلاش گردید تا با استفاده از نتایج حاصل، یک مکانیزم محتمل برای بازدارندگی این ممانعت کننده ارائه گردد. علاوه بر آن، احتمال وجود اثر هم افزایی بین هگزامین و ۲-دی اتیل آمینواتانول در محیط اسیدکلریدریک مورد بررسی قرار گرفت. جهت مطالعه نحوه بازدارندگی و بدست آوردن راندمان آن از آزمایشهای پلاریزاسیون و طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی استفاده شد. همچنین به منظور انجام بررسیهای سطحی، آنالیز *FTIR* انجام گرفت.

افزایش غلظت هگزامین در محدوده مورد مطالعه باعث افزایش راندمان بازدارندگی گردید، اما با افزایش سرعت حرکت محلول و افزایش دما راندمان بازدارندگی کاهش یافت. مجموع این نتایج در کنار پیروی این ممانعت کننده از ایزوترم جذب لانگمیر و پارامترهای ترمودینامیکی حاصله، به نظرمی رسد که موید عملکرد این بازدارنده از طریق جذب فیزیکی بر روی سطح می باشد. انرژی آزاد جذب هگزامین در محیط اسیدکلریدریک  $31 \text{ kJ/mol}$ ، آنتالپی آزاد جذب  $13 \text{ kJ/mol}$  و آنتروپی آزاد جذب  $56 \text{ kJ/mol}^{\circ}K$  می باشد. ۲-دی اتیل آمینواتانول نیز با هگزامین در کاهش خوردگی فولاد در محیط اسید کلریدریک مشارکت داشته باشد. این مشارکت در برخی موارد به صورت اثر سینرژیسیم و در برخی موارد به صورت اثر آنتاگونیسیم نمایان شده است.

**کلمات کلیدی:** هگزامین، امپدانس الکتروشیمیایی، پلاریزاسیون، بازده بازدارندگی، ۲-دی اتیل آمینواتانول

، سینرژیسیم

## فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۲- مروری بر منابع	۴
۲-۱- بازدارنده‌های معرفی شده	۴
۲-۲- مطالعات صورت گرفته روی هگزامین	۲۸
۳- تجهیزات و روشهای آزمایش	۳۹
۳-۱- مواد مورد استفاده در انجام آزمایشات	۳۹
۳-۱-۱- بازدارنده مورد استفاده	۳۹
۳-۱-۲- الکترودها و نمونه فلزی مورد استفاده	۳۹
۳-۱-۳- محلول آزمایشهای خوردگی و روش تهیه	۴۱
۳-۲- آماده‌سازی نمونه	۴۲
۳-۳- روشهای ارزیابی رفتار خوردگی	۴۳
۳-۳-۱- مقدمه	۴۳
۳-۳-۲- روشهای پلاریزاسیون	۴۴
۳-۳-۳- اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS)	۴۴
۳-۳-۳- تست کاهش وزن	۴۵
۳-۴- آزمایش بررسی سطح	۴۵
۳-۴-۱- استفاده از آنالیز FTIR	۴۵

۴- نتایج و بحث .....	۴۷
۴-۱- بررسی نرخ خوردگی فولاد در غلظت‌های گوناگون بازدارنده .....	۴۷
۴-۲- ایزوترم جذب .....	۵۷
۴-۲-۱- ایزوترم های جذب در سیستم های جامد- مایع .....	۵۷
۴-۳- بررسی سینتیک جذب بازدارنده .....	۶۱
۴-۴- آنالیز FTIR: .....	۶۵
۴-۵- بررسی اثر شرایط هیدرودینامیک .....	۶۹
۴-۶- بررسی اثر دما بر روی عملکرد بازدارنده .....	۷۷
۴-۷- محاسبات ترمودینامیکی .....	۸۵
۴-۷-۱- آنتالپی جذب .....	۸۵
۴-۷-۲- آنتروپی جذب .....	۸۶
۴-۸- بررسی اثر ۲- دی اتیل آمینواتانول روی بازدارندگی هگزامین و محاسبه فاکتور سینرژیسیم .....	۸۸
۵- نتیجه گیری .....	۹۶
مراجع .....	۹۸

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲-۱- مقادیر ضریب جذب و انرژی آزاد جذب برای برخی از ایزاکسالینها در غلظتهای ۱ و ۵ مولار  
اسید کلریدریک ..... ۱۲
- جدول ۲-۲-۲- برخی اطلاعات حاصل از تستهای صورت گرفته روی روی مشتقات مرکاپتوتریازول ..... ۱۳
- جدول ۲-۲-۳- خلاصهای از انرژی اکتیواسیون و بازده بازدارندگی در دماهای مختلف برای برخی آمیدها و  
مشتقات تیوسمیکربازون ..... ۱۶
- جدول ۲-۲-۴- پارامترهای ترمودینامیکی برای فولاد نرم در محلول اسید کلریدریک ۳ مولار شامل ترکیبات  
*quinoline* و ترکیبات آلی *phosphonium* ..... ۱۸
- جدول ۳-۱- ترکیب شیمیایی فولاد نرم مورد استفاده جهت الکتروود کار ..... ۳۹
- جدول ۴-۱- نتایج دادههای امپدانس بدست آمده از انطباق نمودارهای امپدانس فولاد در اسیدکلریدریک ۱  
مولار در غلظتهای مختلف هگزامین ..... ۵۲
- جدول ۴-۲- اطلاعات مربوط به منحنیهای پلاریزاسیون فولاد در محیط اسیدکلریدریک در غلظتهای  
مختلف هگزامین ..... ۵۵
- جدول ۴-۳- نتایج حاصل از تست کاهش وزن ..... ۵۶
- جدول ۴-۴- مقادیر عدد رینولدز در سرعتهای مختلف چرخش ..... ۷۰
- جدول ۴-۵- نتایج حاصل از انجام تست پلاریزاسیون در غلظتهای مختلف از هگزامین در دماهای متفاوت  
..... ۷۹
- جدول ۴-۶- اطلاعات پلاریزاسیون مربوط به فولاد در اسیدکلریدریک ۱ مولار در غلظت  $700\text{ ppm}$  از  
هگزامین در دماهای مختلف ..... ۸۲
- جدول ۴-۷- اطلاعات مربوط به انرژی اکتیواسیون جذب هگزامین روی فولاد در محیط اسیدکلریدریک ۸۴



- جدول ۸-۴- اطلاعات مربوط به آنتالپی جذب هگزامین در محیط اسیدکلریدریک روی فولاد ..... ۸۶
- جدول ۴-۹- اطلاعات مربوط به منحنیهای پلاریزاسیون نمونه فولادی در محیط اسیدکلریدریک در  
غلظتهای مختلف ۲- دی اتیل آمینواتانول ..... ۸۹
- جدول ۴-۱۰- اطلاعات پلاریزاسیون مربوط به ترکیب هگزامین و ۲- دی اتیل آمینواتانول روی فولاد در  
محیط اسیدکلریدریک ۱ مولار ..... ۹۱
- جدول ۴-۱۱- مقادیر فاکتور تزیاید و درصد بازدارندگی در غلظتهای مختلف هگزامین و ۲- دی اتیل  
آمینواتانول ..... ۹۴

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ - سه اسید چرب استفاده شده به عنوان بازدارنده با نامهای (2-undecane-5-mercapto-1-oxa-3,4-diazole (UMOD و (2-heptadecene-5-mercapto-1-oxa-3,4-diazole (HMOD و (DMOD) decene-5-mercapto-1-oxa-3,4-diazole ..... ۵
- شکل ۲-۲ - نمودار ایزوترم جذب تمکین برای (۱) UMOD (۲) HMOD (۳) DMOD در اسید کلریدریک ..... ۶
- شکل ۲-۳ - منحنی پلاریزاسیون فولاد در محیط اسید کلریدریک در حضور و عدم حضور بازدازندهای P1 و P2 ..... ۶
- شکل ۲-۴ - مدل جذب ایزوترم لانگمیر برای بازدارندههای P1 و P2 در اسید کلریدریک روی سطح فولاد ..... ۷
- شکل ۲-۵ - ساختار dithiobiuret های مورد استفاده به عنوان بازدارنده برای فولاد در اسید کلریدریک ..... ۸
- شکل ۲-۶ - تغییرات بازده بازدارندگی بر حسب (A) غلظت بازدارنده و (B) غلظت اسید در حضور (a) DPDTB (b) TPDTB (c) APDTB (d) CPDTB ..... ۸
- شکل ۲-۷ - تغییرات بازده بازدارندگی بر حسب (C) دما و (D) زمان در حضور (a) DPDTB (b) TPDTB (c) APDTB (d) CPDTB ..... ۹
- شکل ۲-۸ - ساختار ترکیبات (۱) Thiosemicarbazide (۲) Phenylthiosemicarbazide Girad's-T ..... ۹
- (۳) Phenylthiosemicarbazide Girad's-P ..... ۹
- شکل ۲-۹ - مدل جذب ارائه شده برای ترکیبات (I) Thiosemicarbazide (II) Phenylthiosemicarbazide Girad's-T (III) Phenylthiosemicarbazide Girad's-P ..... ۱۰

شکل ۲-۱۰- ساختار ایزواکسیالینهای گزارش شده به عنوان بازدارنده برای فولاد در اسیدکلریدریک..... ۱۱

شکل ۲-۱۱- نمودار تغییرات عکس سرعت خوردگی بر حسب غلظت *1,2-ethane bis(dimethyl*

*alkyl(CnH2n+1) ammonium bromide* در ازاء ۱۶، ۱۲، ۱۰  $n =$ ..... ۱۲

شکل ۲-۱۱- ساختار مرکاپتوتریازولهای استفاده شده به عنوان بازدارنده..... ۱۳

شکل ۲-۱۲- تغییرات پتانسیل *pitting* بر حسب تغییرات غلظت *ATP* در محلول ۱ مولار اسیدکلریدریک..... ۱۴

شکل ۲-۱۳- تصویر *SEM* از سطح نمونه بعد از انجام تست پلاریزاسیون در محلول  $1 M HCl + (a$

$0.004 M CNMBT$  با بزرگنمایی ۱۰۰۰  $(b$   $1 M HCl + 0.004 M ATP$  با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰..... ۱۵

شکل ۲-۱۴- منحنی پلاریزاسیون فولاد نرم در اسیدکلریدریک ۰/۵ مولار در حضور  $(1$   $blank$   $(2$ ..... ۱۶

$1 \times 10^{-3}$   $(5$   $7 \times 10^{-3}$   $(4$   $5 \times 10^{-3}$   $(3$   $4 \times 10^{-3}$   $(2$   $1/5 \times 10^{-3}$  مولار از *sodium n,n-diethyl*

*dithiocarbamate*..... ۱۶

شکل ۲-۱۵- ایزوترم جذب *Flory- Huggin* برای *sodium n,n-diethyl dithiocarbamate* روی سطح

فولاد..... ۱۷

شکل ۲-۱۶- مشتقات پیریدین مورد استفاده به عنوان بازدارنده..... ۱۸

شکل ۲-۱۷- نمودار ایزوترم جذب لانگمیر در غلظتهای مختلف ترکیب *IV* پیریدین مورد استفاده به عنوان

بازدارنده..... ۱۹

شکل ۲-۱۸- طرحی از نحوه جذب تیوکربامیدها روی سطح..... ۱۹

شکل ۲-۱۹- منحنی نایکوئیست الکتروود فولادی در اسیدکلریدریک در غلظت  $(1$   $blank$   $(2$   $2 \times 10^{-5}$   $(3$

$8 \times 10^{-5}$   $(4$   $2/4 \times 10^{-4}$   $(5$   $4/8 \times 10^{-4}$   $(6$   $8 \times 10^{-4}$  مولار..... ۲۰

شکل ۲-۲۰- منحنی پلاریزاسیون برای فولاد در اسیدکلریدریک ۱ مولار در غلظت  $(1$   $blank$   $(2$ ..... ۲۰

$2 \times 10^{-5}$   $(3$   $8 \times 10^{-5}$   $(4$   $2/4 \times 10^{-4}$   $(5$   $4/8 \times 10^{-4}$   $(6$   $8 \times 10^{-4}$  مولار..... ۲۱

- شکل ۲-۲۱- منحنیهای پلاریزاسیون فولاد در اسید کلریدریک ۲ مولار در حضور (□) blank (○) <sup>-۴</sup>
- ۱×۱۰ (A) ۵×۱۰<sup>-۴</sup> (∇) ۱۰<sup>-۴</sup> (◇) ۵×۱۰<sup>-۳</sup> (☆) ۱۰<sup>-۲</sup> مولار از *vanillin* (a) و
- ۲۲..... *protocatechualdehyde* (b) در دمای ۲۵ در جه سانتی گراد.....
- شکل ۲-۲۲- نمودار ایزوترم جذب لانگمیر برای 2-max در محیط (A) اسیدکلریدریک ۱ مولار (B) اسید سولفوریک ۰/۵ مولار.....
- ۲۳..... شکل ۲-۲۳- دیاگرام نایکوئیست برای فولاد در اسیدکلریدریک ۱ مولار در غلظت (a) ۰/۲۵×۱۰<sup>-۴</sup> (b) <sup>-۴</sup>
- ۲۳..... ۰/۵×۱۰ (c) ۱×۱۰<sup>-۴</sup> (d) ۲/۵×۱۰<sup>-۴</sup> (e) ۵×۱۰<sup>-۴</sup> مولار از DAPT.....
- شکل ۲-۲۴- تغییرات بازده بازدارندگی در غلظتها و دماهای متفاوت از SLS.....
- شکل ۲-۲۵- سطح نمونه فولادی بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری در محلول (۱) اسیدکلریدریک ۱ مولار (۲) اسیدکلریدریک ۱ مولار در حضور ۲۵۰ ppm از SLS.....
- شکل ۲-۲۶- منحنی نایکوئیست برای غلظتهای مختلف SI روی ساختار (a) پرلیت و (b) مارتنزیت در محلول اسیدکلریدریک.....
- ۲۵..... شکل ۲-۲۷- نمودار جذب ایزوترم لانگمیر برای بازدارنده (a) SI و (b) S2 روی ساختارهای پرلیت و مارتنزیت.....
- ۲۶..... شکل ۲-۲۸- ساختار برخی آمینواسیدهای مورد استفاده به عنوان بازدارنده.....
- ۲۷..... شکل ۲-۲۹- تصاویر SEM نمونه (a) قبل از قرارگرفتن در محلول اسیدکلریدریک ۱ مولار (b) بعد از قرارگرفتن در محلول اسیدکلریدریک ۱ مولار (c) بعد از قرارگرفتن در محلول اسیدکلریدریک ۱ مولار در حضور Tyr C-12.....
- ۲۸..... شکل ۲-۳۰- نحوه عملکرد هگزامین در محلول اسید کلریدریک.....
- ۲۹..... شکل ۲-۳۱- ساختار هگزامین در محلول اسید کلریدریک.....
- ۲۹.....

- شکل ۲-۳۲- تغییرات بازده هگزامین در غلظت‌های مختلف اسیدکلریدریک و غلظت‌های مختلف  $NaCl$  ..... ۳۰
- شکل ۲-۳۳- اثر تغییرات غلظت یون  $Cu^{+2}$  روی بازدارندگی هگزامین در غلظت  $300 ppm$  در محلول ۳  
 ۳۱ ..... نرمال اسیدکلریدریک
- شکل ۲-۳۴- اثر کاتیون‌های مختلف فلزی با غلظت  $10 ppm$  در کنار غلظت‌های مختلف از هگزامین روی  
 ۳۲ ..... سرعت خوردگی
- شکل ۲-۳۵- تغییرات بازده بازدارندگی در محلول ۲ مولار اسیدکلریدریک در حضور  $HA$  (a) و  $HA$  (b)  
 ۳۲ .....  $X ppm HA + 20 ppm KI$  (c)  $KI$
- شکل ۲-۳۶- تغییرات بازده بازدارندگی برای خوردگی آلومینیوم در محلول اسیدکلریدریک در حضور  
 ۳۳ ..... (a) هگزامین (b)  $CaCl_2$  (c)  $CaCl_2 + x ppm HA + 300 ppm HA$
- شکل ۲-۳۷- اثر زمان غوطه‌وری روی بازده بازدارندگی هگزامین در حضور و عدم حضور  $CaCl_2$  و  $KI$   
 ۳۴ ..... روی آلومینیوم در محیط اسیدکلریدریک
- شکل ۲-۳۸- اثر دما روی بازده بازدارندگی هگزامین در حضور و عدم حضور  $CaCl_2$  و  $KI$  روی  
 ۳۴ ..... آلومینیوم در محیط اسیدکلریدریک
- شکل ۲-۳۹- تغییرات بازده بازدارندگی هگزامین بر حسب غلظت در محیط  $0/5$  مولار اسید سولفوریک ۳۵
- شکل ۲-۴۰- منحنی پلاریزاسیون برای فولاد در محیط اسیدسولفوریک  $0/5$  مولار در غلظت‌های (a)  $ppm$   
 ۳۶ ..... ۱۰۰ (b)  $200 ppm$  (c)  $300 ppm$  از هگزامین
- شکل ۲-۴۱- نمودار ایزوترم جذب لانگمیر برای هگزامین در محیط اسیدسولفوریک ..... ۳۶
- شکل ۲-۴۲- ثابت سینرژیسیم بدست آمده از اثر ترکیبی هگزامین و  $SDBS$  ..... ۳۷
- شکل ۳-۱- شماتیک سل الکتروشیمیایی مورد استفاده در کلیه آزمایش‌های الکتروشیمیایی خوردگی ..... ۴۰

- شکل ۳-۲- دستگاه الکتروود استوانه ای چرخان (*RDE*) ساخت شرکت *Princeton* مورد استفاده در آزمایشات جهت شبیه سازی شرایط هیدرودینامیک. .... ۴۱
- شکل ۳-۳- مجموعه الکتروود مرجع ..... ۴۲
- شکل ۳-۴- دستگاه (*EG&G model 273A*) و (*PAR Model 1025*) مورد استفاده در آزمایش ها. .... ۴۳
- شکل ۴-۱- منحنی نایکوئیست فولاد در اسیدکلریدریک ۱ مولار در غلظتهای مختلف هگزامین ..... ۴۷
- شکل ۴-۲- (*a*) مقاومت بین فلز/لاگین (*b*) توزیع پتانسیل روی فصل مشترک فلز /محلول ..... ۵۰
- شکل ۴-۳- مدار معادل مورد استفاده جهت ارزیابی نمودارهای امپدانس ..... ۵۰
- شکل ۴-۴- نمونه ای از انطباق مدار معادل پیشنهادی با منحنی آزمایشگاهی برای غلظت  $700 \text{ ppm}$  هگزامین در اسیدکلریدریک ..... ۵۱
- شکل ۴-۵- نمودار تغییرات درصد بازدارندگی هگزامین برای فولاد در محیط اسیدکلریدریک ۱ مولار بر حسب تغییرات غلظت هگزامین ..... ۵۳
- شکل ۴-۶- منحنیهای پلاریزاسیون فولاد در محیط اسیدکلریدریک در غلظتهای مختلف هگزامین ..... ۵۴
- شکل ۴-۷- نمودار ایزوترم جذب لانگمیر برای فولاد در محیط اسیدکلریدریک در حضور هگزامین ..... ۵۹
- شکل ۴-۸- نمودار نایکوئیست فولاد را در غلظت  $700 \text{ ppm}$  در زمانهای مختلف ..... ۶۲
- شکل ۴-۹- تغییرات بازده بازدارندگی نسبت به زمان غوطه وری نمونه فولادی در محلول حاوی اسید کلریدریک ۱مولار در غلظت  $700 \text{ ppm}$  از هگزامین در شرایط استاتیک ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۰- نحوه عملکرد هگزامین ..... ۶۴
- شکل ۴-۱۱- طرح شماتیک بازتابش کلی ..... ۶۶
- شکل ۴-۱۲- نمودار حاصل از تست *FTIR* ..... ۶۷

- شکل ۴-۱۳- تغییرات سرعت خوردگی حاصل از تست پلاریزاسیون در مورد فولاد در محلول  
 اسیدکلریدریک ۱ مولار در سرعت‌های مختلف چرخش الکتروود ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۴- تغییرات شیب تافل کاتدی و پتانسیل خوردگی بر حسب سرعت چرخش الکتروود ..... ۷۲
- شکل ۴-۱۵- نمودار تغییرات مقاومت پلاریزاسیون براساس تست امپدانس در حضور و عدم حضور  
 هگزامین برای فولاد در محیط اسیدکلریدریک ۱ مولار ..... ۷۳
- شکل ۴-۱۶- تغییرات بازده بازدارندگی بر حسب تغییرات سرعت برای فولاد در حضور  $700 \text{ ppm}$  از  
 هگزامین در اسیدکلریدریک ۱ مولار ..... ۷۴
- شکل ۴-۱۷- منحنی‌های پلاریزاسیون در محلول بدون بازدارنده و در غلظت  $700 \text{ ppm}$  از هگزامین در  
 حالت سکون و در سرعت  $200 \text{ rpm}$  ..... ۷۶
- شکل ۴-۱۸- منحنی امپدانس فولاد در محیط اسیدکلریدریک ۱ مولار در حضور  $700 \text{ ppm}$  از هگزامین ..... ۷۷
- شکل ۴-۱۹- منحنی امپدانس فولاد در محیط اسیدکلریدریک ۱ مولار در حضور  $300 \text{ ppm}$  از هگزامین ..... ۷۸
- شکل ۴-۲۰- تغییرات منحنی پلاریزاسیون بر حسب تغییرات دما در غلظت  $700 \text{ ppm}$  از هگزامین ..... ۸۱
- شکل ۴-۲۱- شیب‌های آرنیوس محاسبه شده از دانسیته جریان خوردگی در عدم حضور و حضور  $\text{ppm}$   
 از هگزامین ..... ۸۳
- شکل ۴-۲۲- شیب‌های آرنیوس محاسبه شده از دانسیته جریان خوردگی در عدم حضور و حضور  $300 \text{ ppm}$   
 از هگزامین ..... ۸۴
- شکل ۴-۲۳- نمودار  $\ln(\theta/1-\theta)$  بر حسب  $10^3/T$  برای فولاد در اسیدکلریدریک ۱ مولار در حضور  $\text{ppm}$   
 از هگزامین ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۴- منحنی‌های پلاریزاسیون نمونه های فولادی در محیط اسیدکلریدریک ۱ مولار در غلظت‌های  
 مختلف ۲- دی اتیل آمینواتانول ..... ۸۸

- شکل ۴-۲۵- منحنیهای پلاریزاسیون نمونه های فولادی در محیط اسیدکلریدریک در غلظت  $700 \text{ ppm}$  از هگزامین در کنار غلظتهای مختلف ۲- دی اتیل آمینواتانول ..... ۹۰
- شکل ۴-۲۶- درصد تغییرات درصد بازدارندگی بر حسب تغییرات غلظت هگزامین و ۲- دی اتیل آمینواتانول ..... ۹۲
- شکل ۴-۲۷- تاثیر اضافه نمودن غلظتهای مختلف از مخلوط بازدارندههای هگزامین و ۲- دی اتیل آمینواتانول روی فاکتور تزیاید آنها با نسبتهای مختلف ..... ۹۳



فصل اول

**مقدمه**

خوردگی یک واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین یک ماده، معمولاً یک فلز، و محیط اطراف آن می باشد که به تغییر خواص ماده منجر خواهد شد. آلودگی محیط به محصولات خوردگی و آسیب دیدن عملکرد یک سیستم از جنبه های زیان آور خوردگی می باشند، حفاظت کاتدی سازه های مختلف و تولید انرژی الکتریکی در یک باطری از فواید پدیده خوردگی هستند، اما تأثیرات مخرب و هزینه های بار آمده به واسطه این فرآیند به مراتب بیشتر است. با نگاهی به آمار منتشر شده از خسارات مستقیم و غیر مستقیم خوردگی به اقتصاد کشورها می توان به هزینه های سرسام آور این پدیده پی برد. یک مطالعه دو ساله از ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ در آمریکا نشان داده که هزینه های مستقیم خوردگی ۲۷۶ میلیارد دلار در سال در آمریکا بوده است که این رقم تقریباً ۳/۱٪ از تولید ناخالص داخلی آمریکا را نشان می دهد. از این رقم هزینه ای بالغ بر ۱۳۷/۹ میلیارد دلار به بخش صنعت که خود دارای زیر شاخه های مختلفی است، مربوط می باشد. در ایران نیز پدیده خوردگی خسارات قابل توجهی را در صنایع گوناگون بوجود آورده است. بر اساس برخی بررسی های غیر رسمی زیان اقتصادی مستقیم ناشی از خوردگی در ایران در سال ۱۳۷۳ حدود ۵۰۰۰ میلیارد ریال، در سال ۱۳۷۵ حدود ۹۰۰۰ میلیارد ریال و در سال ۱۳۷۹ حدود ۲۷۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است.

با توجه به هزینه های قابل توجه خوردگی، ضرورت جلوگیری و یا حداقل، کاهش زیان های ناشی از خوردگی بیش از پیش مشخص می شود. روش های مختلفی برای کاهش خوردگی ارائه شده اند. از جمله روش های کارآمد و موثر در مقابله با خوردگی می توان به انتخاب مناسب مواد برای کاربردهای مختلف، بکارگیری سیستم های حفاظت کاتدی و آندی، کاهش خوردگی محیط، استفاده از پوشش های محافظ، استفاده از ممانعت کننده های خوردگی و بهبود طراحی سیستم اشاره داشت. در میان روش های یاد شده جهت مقابله با خوردگی، بکارگیری ممانعت های خوردگی از روش های موثر بوده و در صنایع متعددی استفاده

می‌شود.

در محیط‌های صنعتی عموماً عواملی از قبیل تغییرات دما، شرایط هیدرودینامیک، زمان عملیات و بسیاری عوامل دیگر روی کارایی بازدارنده‌ها اثرگذار بوده و گاهی به عنوان عامل مثبت و گاهی به عنوان عامل منفی عمل می‌نمایند.

هگزامین یکی از موادی است که به عنوان بازدارنده خوردگی در محیط‌های اسیدی استفاده می‌شود که علیرغم استفاده طولانی از آن مطالعات سیستماتیک در مورد این بازدارنده به ندرت مشاهده شده است و پارامترهای ترمودینامیکی و اثر برخی شرایط روی آن مورد مطالعه قرار نگرفته است.

یکی از محیط‌هایی که هگزامین در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد محیط اسیدکلریدریک می‌باشد. با توجه به تحقیقات پیشین صورت گرفته بازده هگزامین در این محیط‌ها از مرز ۸۵٪ در حداکثر میزان بازدارندگی عبور نکرده است. این در حالیست که در برخی شرایط احتیاج به کاهش بیشتر سرعت خوردگی می‌باشد. بنابراین در برخی شرایط احتیاج به استفاده از برخی عوامل دیگر به منظور بهبود شرایط است. افزودن مواد خاص دیگر به محلول که بتوانند اثر مثبتی روی عملکرد بازدارنده باشند از روش‌های کاهش سرعت خوردگی می‌باشد.

در این پژوهش پس از بررسی اثر غلظت هگزامین روی درصد بازدارندگی آن به بررسی اثر زمان ماندگاری روی بازده بازدارندگی پرداخته شده است. در ادامه کار اثر شرایط هیدرودینامیک مورد مطالعه قرار گرفته و به منظور محاسبه متغیرهای ترمودینامیکی مورد نیاز به منظور بررسی نحوه جذب این بازدارنده روی فولاد در محیط اسید کلریدریک تغییرات دمایی اعمال شده است.

در پایان کار به منظور بهبود شرایط بازدارندگی هگزامین در محیط اسید کلریدریک ۱ مولار و رسیدن به سرعت‌های خوردگی کمتر، از ۲- دی اتیل آمینواتانول به عنوان ماده بازدارنده دوم استفاده شده و غلظت‌های مورد نیاز برای شرایط سینرژیسیم و دستیابی به بازده دوچندان معرفی شده‌اند.

فصل دوم

سرورس بر منابے